

В.А.Гришин, О.Н.Радышевская, И.Е.Трегубов

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ
КОМПОНЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

(г.Волгоград)

При разработке математического обеспечения автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) одной из важнейших задач является построение математической модели исследуемого объекта, явления или процесса на основе тех или иных экспериментальных данных. Одним из возможных решений данной задачи является разработка автоматизированной интерактивной системы идентификации моделей компонентов технических систем.

Математические модели процессов функционирования во многих технических системах или их компонентах описываются линейными или нелинейными дифференциальными уравнениями в обыкновенных производных. Для решения задач параметрической идентификации таких моделей разработана автоматизированная интерактивная система *ПОИСК*. Разработанная система состоит из следующих блоков: трансформации экспериментальных данных в стандартный вид, выборки адекватных структур математических моделей (путем обеспечения качественного изоморфизма экспериментальных и теоретических графиков, приведенных в специально сформированном банке данных по структурам линейных и нелинейных моделей), оценивания параметров моделей.

Процедура идентификации построена путем минимизации функции $J(\dots)$ рассогласования расчетных и экспериментальных данных методом адаптивного случайного поиска с обратным шагом. Причем выражение для функции $J(\dots)$ построено по методу наименьших квадратов в виде

$$J = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q \sum_{j=1}^p (y_{ijk}^* - y_{ijk}(\vec{x}(0), \vec{x}_i, \vec{\pi}, t_{ij}))^2 / \sigma_k^2,$$

где y_{ijk}^* - экспериментальное значение отклика, σ_k^2 - дисперсия воспроизводимости k -го отклика. Расчетное значение отклика $y_{ijk}(\dots)$ является функцией начальных условий, задаваемых вектором $\vec{x}(0)$, управляющих (входных) переменных каждого опыта \vec{x}_i , вектора оцениваемых параметров $\vec{\pi}$ модели, времени t_{ij} и вычисляются на каждом шаге случайного поиска путем численного интегрирования соответствующей системы дифференциальных уравнений.

Индексы i, j, k характеризуют соответственно номер опыта ($i = 1, \dots, m$), номер измерения в i -м опыте (в каждом опыте производится q_i измерений) и номер отклика (их число равно l). Из условий идентифицируемости необходимо, чтобы число идентифицируемых параметров n удовлетворяло неравенству $n \geq l \cdot \sum_{i=1}^m q_i$.

Структура автоматизированной интерактивной системы идентификации моделей компонентов технических систем *POISK* может быть представлена в виде совокупности следующих взаимосвязанных компонент: *M* - библиотеки, объединяющие подпрограммы *MOD* набора математических моделей (линейных и обширного класса нелинейных систем дифференциальных уравнений до 10 порядка включительно), *A* - библиотеки, содержащие данные по структурам линейных и нелинейных моделей, *C* - библиотеки, содержащие вспомогательные и сервисные подпрограммы, обеспечивающие работоспособность *M*-библиотеки управляющей программы *POISK* и программы графического отображения выходных данных *GRAF* [1,2].

Автоматизированная интерактивная система *POISK* может функционировать в одном из трех режимов: автоматическом, диалоговом и пользовательском. Первые два режима обеспечивает управляющая программа *POISK*, осуществляющая вызов подпрограмм из *M*, *A*, *C*-библиотек. В пользовательском режиме (режиме компиляции пользователь самостоятельно формирует управляющую программу, выбирает необходимые подпрограммы из *M*-библиотеки и *C*-библиотеки, осуществляет "ручную сборку" задачи.

Все подпрограммы автоматизированной системы *POISK* написаны на алгоритмическом языке ФОРТРАН-4. Обращение ко всем программным модулям осуществляется при помощи стандартного оператора вызова подпрограмм *CALL*, за которым следует название модуля и перечень формальных параметров. Пользователь может пополнять систему *POISK* новыми программными модулями, использовать библиотеки модулей других пакетов прикладных программ и систем [3,4,5].

Диалоговое взаимодействие в системе *POISK* рассчитано на неподготовленного пользователя, поэтому инициативу ведения пассивного диалога на естественном языке берет на себя ЭВМ, когда пользователь выбирает из предложенной совокупности действий по принципу "меню". Диалог включает запросы системы и ответы пользователя на них. Запросы-директивы требуют от пользователя ввода информации. Запросы-вопросы включают перечень допустимых ответов с цифровым кодом, а пользователь должен ввести код выбранного ответа. Запросы сообщения не требуют реакции пользователя. Ответы на запросы-воп-

росы подвергаются контролю и при неправильном ответе запрос повторяется. Предусмотрена также возможность контроля основных этапов решения задачи идентификации и, если необходимо, получать текущую информацию о величине шага поиска, о расчетных значениях откликов, значениях оцениваемых параметров, критерии функции согласования расчетных и экспериментальных данных, и т.д. В автоматическом режиме вычислений каждый раз перед генерацией новых случайных векторов пользователю предлагается перейти в диалоговый режим.

Автоматизированная интерактивная система идентификации математических моделей компонентов технических систем *POISK* функционирует под управлением операционной системы реального времени (OS RV) версии 2.1 и выше. Для успешной работы системы на разных этапах вычислительного процесса операционная среда должна включать:

транслятор с языка ФОРТРАН-4,

программные средства организации и ведения библиотек на магнитных дисках (МД),

программные средства организации и ведения файлов на МД,

средства компоновки и перемещения программных модулей,

средства редактирования текстов программ,

базовое информационное программное обеспечение конструкторского проектирования для работы на графических устройствах АРМ, процессор косвенных командных файлов.

Система *POISK* ориентирована на малые ЭВМ типа СМ-3.

СМ-4, комплексы АРМ на базе СМ ЭВМ. В минимальную конфигурацию технических средств, необходимых для ее работы, входят следующие устройства: центральный процессор, оперативно-запоминающее устройство емкостью не менее 64 К слов, терминал для связи оператора с ЭВМ, аппаратный начальный загрузчик, устройства внешней памяти на МД; алфавитно-цифровое печатающее устройство, графический интеллектуальный терминал, графопостроитель для АРМ на базе СМ ЭВМ.

Для работы с системой *POISK* необходимо ввести исходную информацию, содержащую следующие группы данных:

группа данных *DIM*, включающая данные целого типа о размерности задачи, *N* - число оцениваемых параметров, *NK* - число независимых переменных задачи (порядок системы дифференциальных уравнений), *NK1* - число измеряемых откликов ($NK1 \leq NK$), *MM* - число опытов (под опытом понимается совокупность экспериментальных данных, полученных при одних и тех же условиях), *LM* - число случайных векторов, генерируемых в одной точке поиска, *SSS* - число

экспериментальных точек во всех опытах для одного отклика (предполагается одинаковым для всех откликов);

группа данных *EPS*, содержащая информацию о точности вычислений и шаге интегрирования;

группа данных *USL* содержит информацию об условиях проведения опытов: матрицу начальных условий $YN(MM, NK)$ и целочисленный одномерный массив $LM(MM+1)$, элементами которого являются величины $LM(MM) = 0, LM(2) = q_1, LM(3) = q_1 + q_2, LM(MM+1) = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_{MM}$, где q_i ($i = 1 \dots MM$) есть число измерений в i -м опыте, очевидно, что $\sum_{i=1}^M q_i = LSS$;

группа данных *EXPER*, включающая совокупность экспериментальных данных: одномерный массив времени измерений (координаты) $A1(LSS)$, массив экспериментальных значений измеряемых откликов $B1(LSS, NKT)$, массив дисперсий воспроизводимости откликов $DIS(NKT)$ и целочисленный массив номеров измеряемых откликов $LS(NKT)$;

группа данных *PAR* включает массив начальных приближений $CO(N)$ и массив индикации оцениваемых параметров $LOM(N)$ (если i -й элемент массива равен 1, то параметр подлежит оцениванию, если равен 0, то параметр не идентифицируется, а фиксируется на необходимом уровне).

В качестве примера рассмотрим подпрограмму *MOD* из *M*-библиотеки для идентификации параметров C и α (коэффициентов упругости и диссипации) нелинейного осциллятора, масса которого считается известной. Экспериментальными данными являются отклонения массы в режиме свободных колебаний. Дифференциальное уравнение свободных колебаний нелинейного осциллятора имеет вид $m\ddot{u} + \alpha\dot{u} + C u/|u| = 0$. Подпрограмма *MOD* для данного уравнения имеет следующий вид:

```
SUBROUTINE MOD(CO, R, Z)
```

```
  DIMENSION CO(3), R(2), Z(2)
```

```
  Z(1) = R(2)
```

```
  Z(2) = -CO(1)/CO(2)*R(2) - CO(3)/CO(2)*R(1)*ABS(R(1))
```

```
  RETURN
```

```
  END
```

Библиографический список

1. Семенов Н.А., Петров В.А. Подход к разработке мониторов проблемно-ориентированных пакетов прикладных программ для малых ЭВМ/ Программирование, 1986. № 3. С.71-77.

2. Семенов Н.А., Симкин С.К. Анализ опыта использования ППП методоориентированных расчетов // Приборы и системы управления, 1983. № 7. С.8-10.
3. Фокс Д. Программное обеспечение и его разработка. М.: Мир, 1985. 368 с.
4. Денинг В., Эссиг Г., Маас С. Диалоговые системы "Человек-ЭВМ". Адаптация к требованиям пользователя. М.: Мир, 1984. 112 с.
5. Зиглер К. Методы проектирования программных систем. М.: Мир, 1985. 328 с.

УДК 681.34

Н.В.Беликов, К.В.Исаев

ОБ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ АЛГОРИТМАХ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТА

(г. Ростов-на-Дону)

Бурное развитие цифровой вычислительной техники, ее доступность и универсальность привели к тому, что в настоящее время можно наблюдать почти полное отсутствие аналоговых средств переработки информации в системах автоматизации эксперимента. В то же время при рациональном сочетании цифровых и аналоговых методов появляются новые возможности и повышается эффективность решения многих задач переработки информации, снижаются требования к быстродействию и объему памяти применяемых цифровых вычислительных средств, а за счет этого стоимость системы и затраты на ее эксплуатацию.

Существует важный класс задач обработки экспериментальных данных, основная особенность которых состоит в том, что в их исходной постановке фигурирует некоторое непрерывное преобразование (оператор)

$$w(t) = B_t \{y(t)\}, \quad t \in [0, t_f] \quad (1)$$

вектора процессов $y(t)$, непосредственно наблюдаемых в эксперименте и характеризующих непрерывный объект исследования (t - непрерывное время). В результате решения задачи множество $\{w(t_1), w(t_2), \dots, w(t_N)\}$ значений векторного процесса $w(t)$